

## 12 El método del camino crítico

Norteamérica, por un Centro de Investigación de Operaciones para las firmas Dupont y Remington Rand, buscando el control y la optimización de los costos de operación mediante la planeación adecuada de las actividades componentes del proyecto.

Ambos métodos aportaron los elementos administrativos necesarios para formar el método del camino crítico actual, utilizando el control de los tiempos de ejecución y los costos de operación, para buscar que el proyecto total sea ejecutado en el menor tiempo y al menor costo posibles.

### DEFINICIÓN

El método del camino crítico es un proceso administrativo de planeación, programación, ejecución y control de todas y cada una de las actividades componentes de un proyecto que debe desarrollarse dentro de un tiempo crítico y al costo óptimo.

### USOS

El campo de acción de este método es muy amplio, dada su gran flexibilidad y adaptabilidad a cualquier proyecto grande o pequeño.

Para obtener los mejores resultados debe aplicarse a los proyectos que posean las siguientes características:

- Que el proyecto sea único, no repetitivo, en algunas partes o en su totalidad.
- Que se deba ejecutar todo el proyecto o parte de él en un tiempo mínimo, sin variaciones, es decir, en tiempo crítico.
- Que se desee el costo de operación más bajo posible dentro de un tiempo disponible.

Dentro del ámbito de aplicación, el método se ha estado usando para la planeación y control de diversas actividades, tales como construcción de presas, apertura de caminos, pavimentación, construcción de casas y edificios, reparación de barcos, investigación de mercados, movimientos de colonización, estudios económicos regionales, auditorías, planeación de carreras universitarias, distribución de tiempos de salas de operaciones, ampliaciones de fábricas, planeación de itinerarios para cobranzas, planes de venta, censos de población, etc., etc.

### METODOLOGÍA

El método del camino crítico consta de dos ciclos:

- Planeación y programación.
- Ejecución y control.

## Metodología 13

El primer ciclo se compone de las siguientes etapas:

- Definición del proyecto.
- Lista de actividades.
- Matriz de secuencias.
- Matriz de tiempos.
- Red de actividades.
- Costos y pendientes.
- Compresión de la red.
- Limitaciones de tiempo, de recursos y económicas.
- Matriz de elasticidad.
- Probabilidad de retraso.

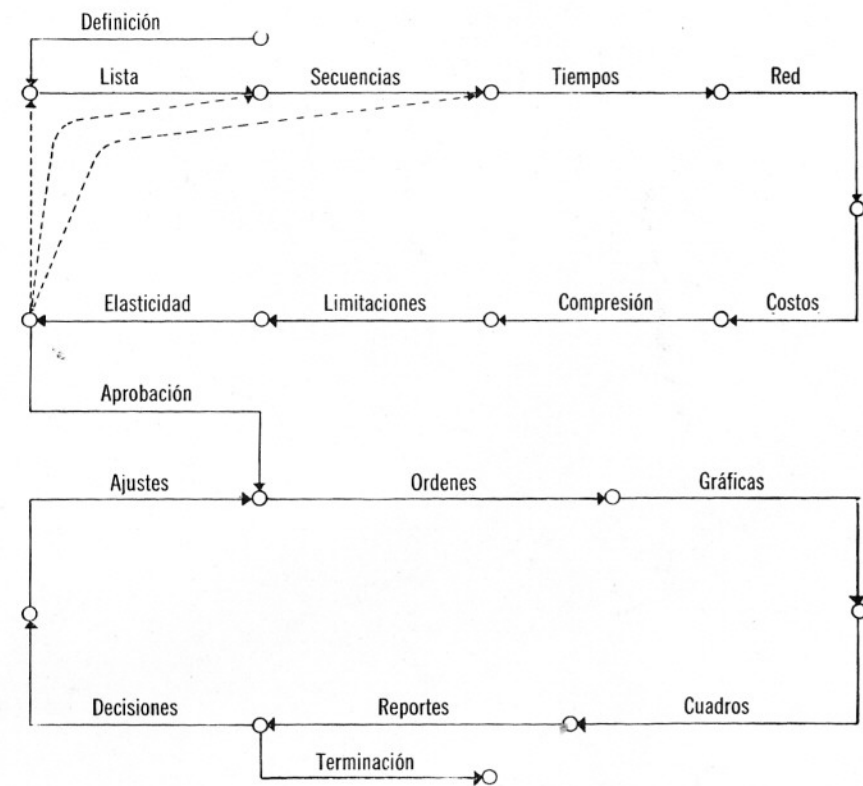


FIGURA 2

## 16 Planeación y programación

Esta información se obtiene de las personas que intervendrán en la ejecución del proyecto de acuerdo con la asignación de responsabilidades y nombramiento de puestos al momento de la definición del proyecto. La relación de actividades no requiere de una forma especial y puede hacerse en cualquier papel.

Al tomar la información no es necesario que las actividades se listen en el orden de ejecución, aunque sí es conveniente porque evita que se olvide alguna de ellas. Sin embargo, las omisiones de las actividades se descubrirán más tarde al hacer la red correspondiente.

En este paso no es necesario indicar la cantidad de trabajo, ni las personas que lo ejecutarán, es suficiente con nombrar las actividades.

Es conveniente numerar progresivamente las actividades para su identificación y en algunos casos pueden denominarse en clave.

Las actividades pueden ser físicas o mentales, como construcciones, trámites, estudios, inspecciones, dibujos, cálculos, montajes, etc. El grado de detalle de las actividades dependerá de la necesidad de control dentro del proyecto.

En términos generales, se considerará *actividad* a la serie de operaciones realizadas por una persona o grupo de personas en forma continua, sin interrupciones, con tiempos determinables de iniciación y terminación.

Los directores deben proporcionar bases para determinar el grado de detalle para cada operación.

Esta lista de actividades sirve de base a las personas responsables de cada proceso para que elaboren sus presupuestos de ejecución, indicando la cantidad de material, especificaciones, mano de obra, equipo, herramientas especiales, condiciones de trabajo, costos, métodos de ejecución, etc. Los presupuestos de ejecución se anexan al programa general de trabajo.

### EJEMPLO

En la ampliación de la fábrica descrita en la definición del proyecto, se llamaron a los cuatro ingenieros responsables para solicitar la relación de actividades que habrían de ejecutar y se obtuvo la siguiente información:

#### A. Jefes de mantenimiento y de producción.

1. Elaboración del proyecto parcial de ampliación.
2. Cálculo del costo y preparación de presupuestos.
3. Aprobación del proyecto.
4. Desempeño de las máquinas nuevas.

## Matriz de secuencias 17

5. Colocación de las máquinas viejas y nuevas.
6. Instalación de las máquinas.
7. Pruebas generales.
8. Arranque general.
9. Revisión y limpieza de máquinas viejas.
10. Pintura de máquinas viejas.
11. Pintura y limpieza del edificio.

#### B. Ingeniero electricista.

12. Elaboración del proyecto eléctrico.
13. Cálculo de los costos y presupuestos.
14. Aprobación del proyecto.
15. Instalación de un transformador nuevo.
16. Instalación de nuevo alumbrado.
17. Instalación de interruptores y arrancadores.

#### C. Ingeniero contratista.

18. Elaboración del proyecto de obra muerta.
19. Cálculo de los costos y presupuestos.
20. Aprobación del proyecto.
21. Cimentación de las máquinas.
22. Pisos nuevos.
23. Colocación de ventanas nuevas.

Nótese que se ha seguido la numeración progresiva en las actividades, no obstante que se trata de tres procesos, con el objeto de identificarlas durante su realización.

### MATRIZ DE SECUENCIAS

Existen dos procedimientos para conocer la secuencia de las actividades:

- a) Por antecedentes.
- b) Por secuencias.

En el primer caso se preguntará a los responsables de los procesos cuáles actividades deben quedar terminadas para ejecutar cada una de las que aparecen en la lista. Debe cuidarse que todas y cada una de las actividades tenga cuando menos una antecedente. En el caso de ser iniciales, la actividad antecedente será cero (tabla 1).

LISTA DE  
ACTIVIDADES

TABLA 1. Matriz de antecedentes

Actividad	Antecedente	Anotaciones
1	0	
2	1	
3	2	3, 14, 20 similares
4	3	
5	4, 21	
6	5	
7	6, 22	
8	7	final
9	3, 14, 20	
10	9	
11	10	
12	0	
13	12	
14	13	
15	14	
16	15	
17	16	
18	0	
19	18	
20	19	
21	20	
22	23	
23	21	

En el segundo procedimiento se preguntará a los responsables de la ejecución, cuáles actividades deben hacerse al terminar cada una de las que aparecen en nuestra lista. Para este efecto debemos presentar la matriz de secuencias iniciando con la actividad cero que servirá para indicar solamente el punto de partida de las demás. La información debe tomarse una por una de las actividades listadas, sin pasar por alto ninguna de ellas (tabla 2).

En la columna de "anotaciones" el programador hará todas las indicaciones que le ayuden a aclarar situaciones de secuencias y presentación de la red. Estas anotaciones se hacen a discreción, ya que esta matriz es solamente un papel de trabajo.

Si se hace una matriz de antecedentes es necesario hacer después una matriz de secuencias, pues es esta última la que se utiliza para dibujar la red.

Esta matriz no es definitiva, porque generalmente se hacen ajustes posteriores en relación con la existencia y disponibilidades de materiales, mano de obra y otras limitaciones de ejecución.

TABLA 2. Matriz de secuencias

Actividad	Secuencias	Anotaciones
0	1, 12, 18	
1	2	
2	3	
3	4, 9	3, 14, 20 similares
4	5	
5	6	
6	7	
7	8	
8	—	final
9	10	
10	11	
11	—	
12	13	
13	14	
14	15	
15	16	
16	17	
17	6	
18	19	
19	20	
20	21	
21	5, 23	
22	7	
23	22	

### MATRIZ DE TIEMPOS

En el estudio de tiempos se requieren tres cantidades estimadas por los responsables de los procesos: el tiempo medio ( $M$ ), el tiempo óptimo ( $o$ ) y el tiempo pésimo ( $p$ ).

El tiempo medio ( $M$ ) es el tiempo normal que se necesita para la ejecución de las actividades, basado en la experiencia personal del informador.

El tiempo óptimo ( $o$ ) es el que representa el tiempo mínimo posible sin importar el costo o cuantía de elementos materiales y humanos que se requieran; es simplemente la posibilidad física de realizar la actividad en el menor tiempo.

El tiempo pésimo ( $p$ ) es un tiempo excepcionalmente grande que pudiera presentarse ocasionalmente como consecuencia de accidentes, falta de suministros, retardos involuntarios, causas no previstas, etc. Debe contarse sólo el tiempo en que se ponga remedio al problema presentado y no debe contar el tiempo ocioso.

## 20 Planeación y programación

Se puede medir el tiempo en minutos, horas, días, semanas, meses y años, con la condición de que se tenga la misma medida para todo el proyecto.

Los tiempos anteriores servirán para promediarlos mediante la fórmula PERT obteniendo un tiempo resultante llamado estándar ( $t$ ) que recibe la influencia del óptimo y del pésimo a la vez.

$$t = \frac{o + 4M + p}{6}$$

Esto es, tiempo estándar igual al tiempo óptimo, más cuatro veces el tiempo medio, más el tiempo pésimo, y esta suma dividida entre 6.

Esta fórmula está calculada para darle al tiempo medio una proporción mayor que los tiempos óptimo y pésimo que influyen. Esta proporción es de 4 a 6.

El resultado de la información y de los cálculos se presenta en la tabla 3, matriz de tiempos.

TABLA 3. Matriz de tiempos

Actividad	$o$	$M$	$p$	$t$
1	1	2	4	3
2	1	1	1	1
3	0	0	0	0
4	2	2	2	2
5	4	6	8	6
6	2	4	5	4
7	2	5	11	6
8	0	0	0	0
9	5	7	8	7
10	2	2	2	2
11	10	12	14	12
12	1	2	4	3
13	1	1	1	1
14	0	0	0	0
15	1	2	4	3
16	4	6	8	6
17	1	2	3	2
18	1	2	4	3
19	1	1	1	1
20	0	0	0	0
21	5	6	7	6
22	3	4	5	4
23	2	3	4	3

## Matriz de tiempos 21

Tanto la matriz de secuencias como la matriz de tiempos se reúnen en una sola llamada *matriz de información*, que sirve para construir la red medida (tabla 4).

TABLA 4. Matriz de información

Actividad	Secuencias	$t$
0	1, 12, 18	—
1	2	3
2	3	1
3	4, 9	0
4	5	2
5	6	6
6	7	4
7	8	6
8	—	0
9	10	7
10	11	2
11	—	12
12	13	3
13	14	1
14	15	0
15	16	3
16	17	6
17	6	2
18	19	3
19	20	1
20	21	0
21	5, 23	6
22	7	4
23	22	3

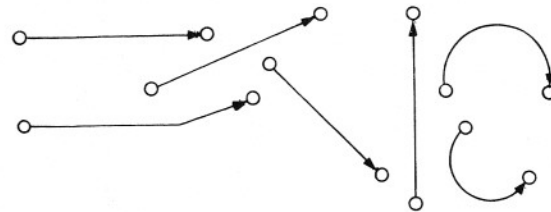


FIGURA 4

En los casos en que haya necesidad de indicar que una actividad tiene una interrelación o continuación con otra se dibujará entre ambas una línea punteada, llamada *liga* (fig. 5), que tiene una duración de cero.



FIGURA 5

La liga puede representar en algunas ocasiones un tiempo de espera para poder iniciar la actividad siguiente.

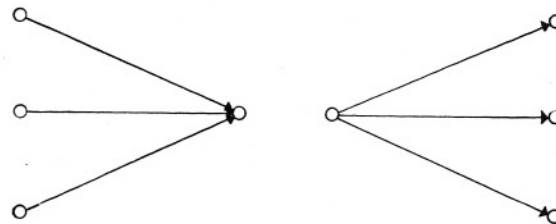


FIGURA 6

Varias actividades pueden terminar en un evento o partir de un mismo evento (fig. 6).

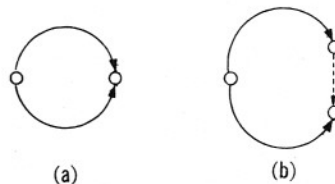


FIGURA 7. a) INCORRECTO; b) CORRECTO.

Al construir la red, debe evitarse lo siguiente:

1. Dos actividades que parten de un mismo evento y llegan a un mismo evento (fig. 7a). Esto produce confusión de tiempo y de continuidad. Debe abrirse el evento inicial o el evento final en dos eventos y unirlos con una liga (fig. 7b).

2. Partir una actividad de una parte intermedia de otra actividad (fig. 8). Toda actividad debe empezar invariablemente en un evento y terminar en otro. Cuando se presenta este caso, a la actividad base o inicial se le divide en eventos a base de porcentajes y se derivan de ellos las actividades secundarias.

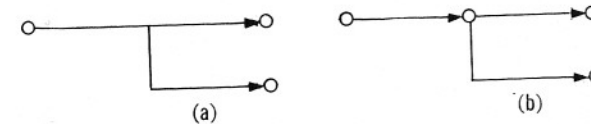


FIGURA 8. a) INCORRECTO; b) CORRECTO.

3. Dejar eventos sueltos al terminar la red (fig. 9). Todos ellos deben relacionarse con el evento inicial o con el evento final.

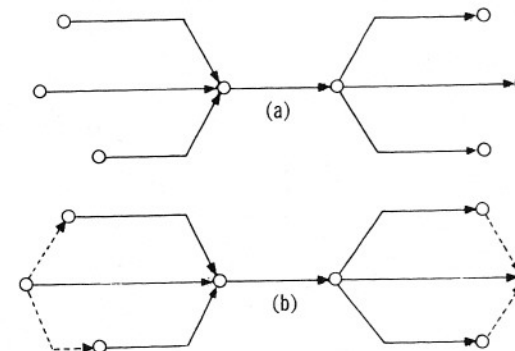


FIGURA 9. a) INCORRECTO; b) CORRECTO.

### PROCEDIMIENTO PARA TRAZAR LA RED MEDIDA

Para dibujar la red medida, se usa papel cuadrulado indicándose en la parte superior la escala con las unidades de tiempo escogidas, en un intervalo razonable para la ejecución de todo el proyecto (fig. 10). Como en este momento no se conoce la duración del mismo, ya que uno de los objetivos de la red es conocerlo, este intervalo sólo es aproximado.

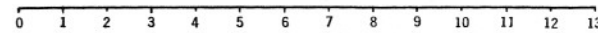


FIGURA 10

A continuación se inicia la red dibujando las actividades que parten del evento *j*. Cada una de ellas debe dibujarse de tal manera que el evento *j* termine, de acuerdo con la duración estándar, en el tiempo indicado en la escala superior. En la figura 11 se muestra la iniciación de las actividades 1, 2, 3, y 4 con duración de tres, dos, tres y cinco días respectivamente.

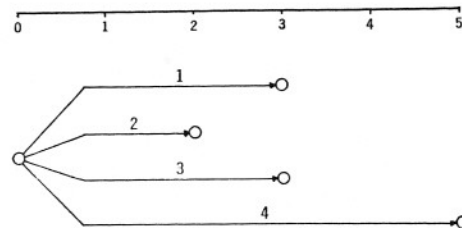


FIGURA 11

En el caso de la ampliación de la fábrica las actividades iniciales son las que se muestran en la figura 12, ya que las tres actividades que parten de cero tienen tres días de duración cada una.

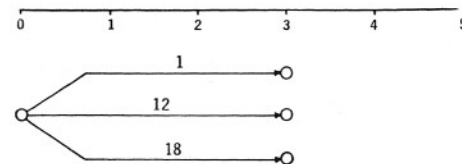


FIGURA 12

A continuación no debe tomarse la numeración progresiva de la matriz de secuencias para dibujar la red, sino las terminales de las actividades, de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, según vayan apareciendo los eventos *j*.

En el caso anterior buscamos las secuencias de la actividad 1, después de la 12 y al último de la 18 (fig. 13). En su orden, buscamos las secuencias de la 2, de la 13 y de la 19.

Si una actividad tiene cero de duración se dibuja verticalmente, ya sea ascendente o descendente, de tal manera que no ocupe tiempo dentro de la red.

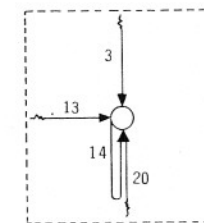
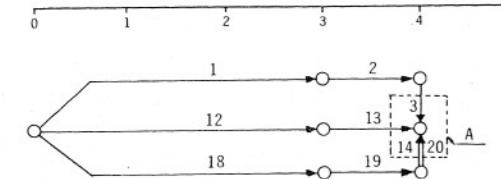


FIGURA 13

Rigurosamente, una actividad no puede tener tiempo de duración cero, ya que no existiría; sin embargo, algunas actividades tienen tan escasa duración que ésta es despreciable y no es conveniente que se considere una unidad de tiempo. Por ejemplo, si la unidad con la que se trabaja es de un día y la duración de la actividad es de cinco o diez minutos, no hay razón para que esta actividad tenga asignado un día de trabajo.

En el caso que se desarrolla, la aprobación de los presupuestos se supone que tomarán de media hora a una hora para su ejecución; pero como la unidad tomada en el proyecto es de un día, el tiempo de ejecución se considera cero.

De acuerdo con las anotaciones de la matriz de secuencias (tabla 2) las actividades 3, 14 y 20 deben ser simultáneas, por lo que necesitamos



Detalle A

FIGURA 14



el porcentaje programado de la columna 4 del cuadro de avance por día y el resultado es el rendimiento que se indicará en la gráfica respectiva (figura 59).

15. Se anotan los productos de las multiplicaciones de los valores de las columnas 13 y 14 para conocer el porcentaje avanzado por cada actividad proporcional a todo el proyecto.

16. Se indican los porcentajes acumulados para cada actividad en su evento inicial, proporcionales al proyecto, tomados de la columna 6 del cuadro de avance por actividad.

17. Se suman las columnas 15 y 16 para obtener los puntos indicadores de avance por actividad que sirven para hacer las anotaciones en la red porcentual.

Como ejemplo, sigamos el desarrollo en la ejecución de las actividades correspondientes al proyecto de la ampliación de la fábrica, haciendo al mismo tiempo el análisis de los resultados y haciendo las anotaciones de avance en la red porcentual y en las gráficas de rendimiento (figuras 58 y 59).

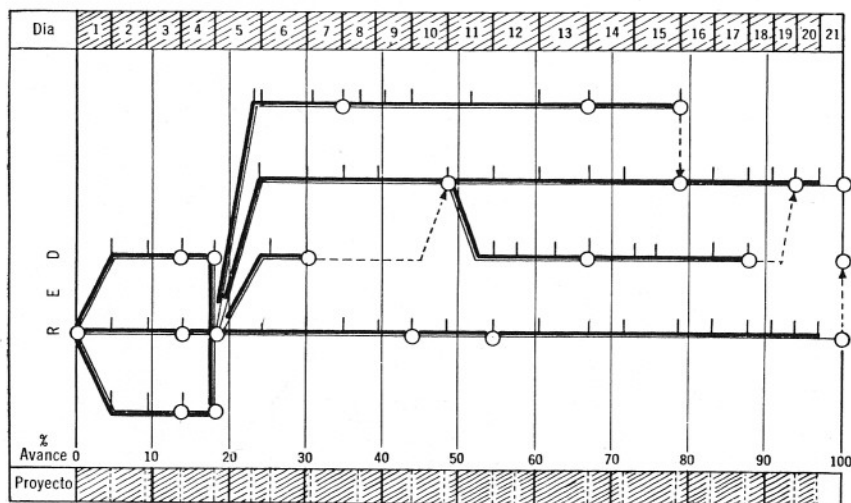


FIGURA 58. Red porcentual durante la ejecución de las actividades.

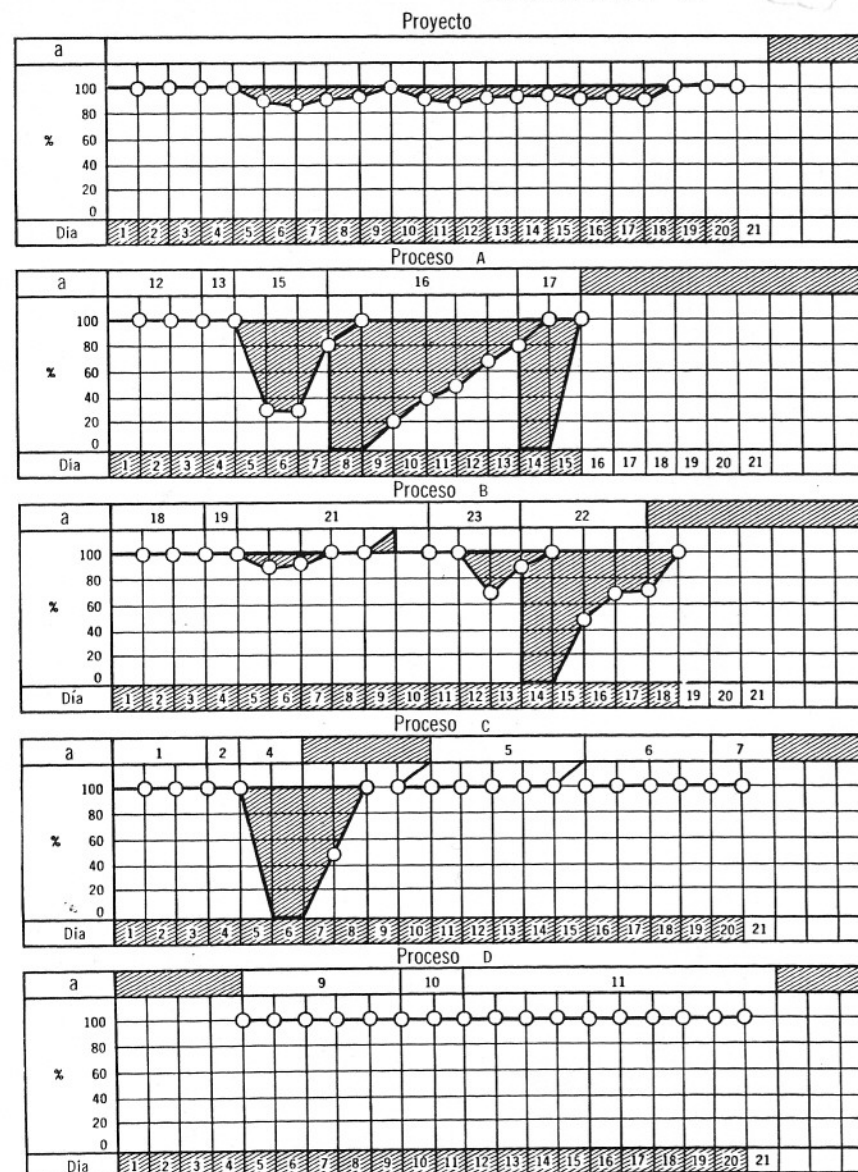


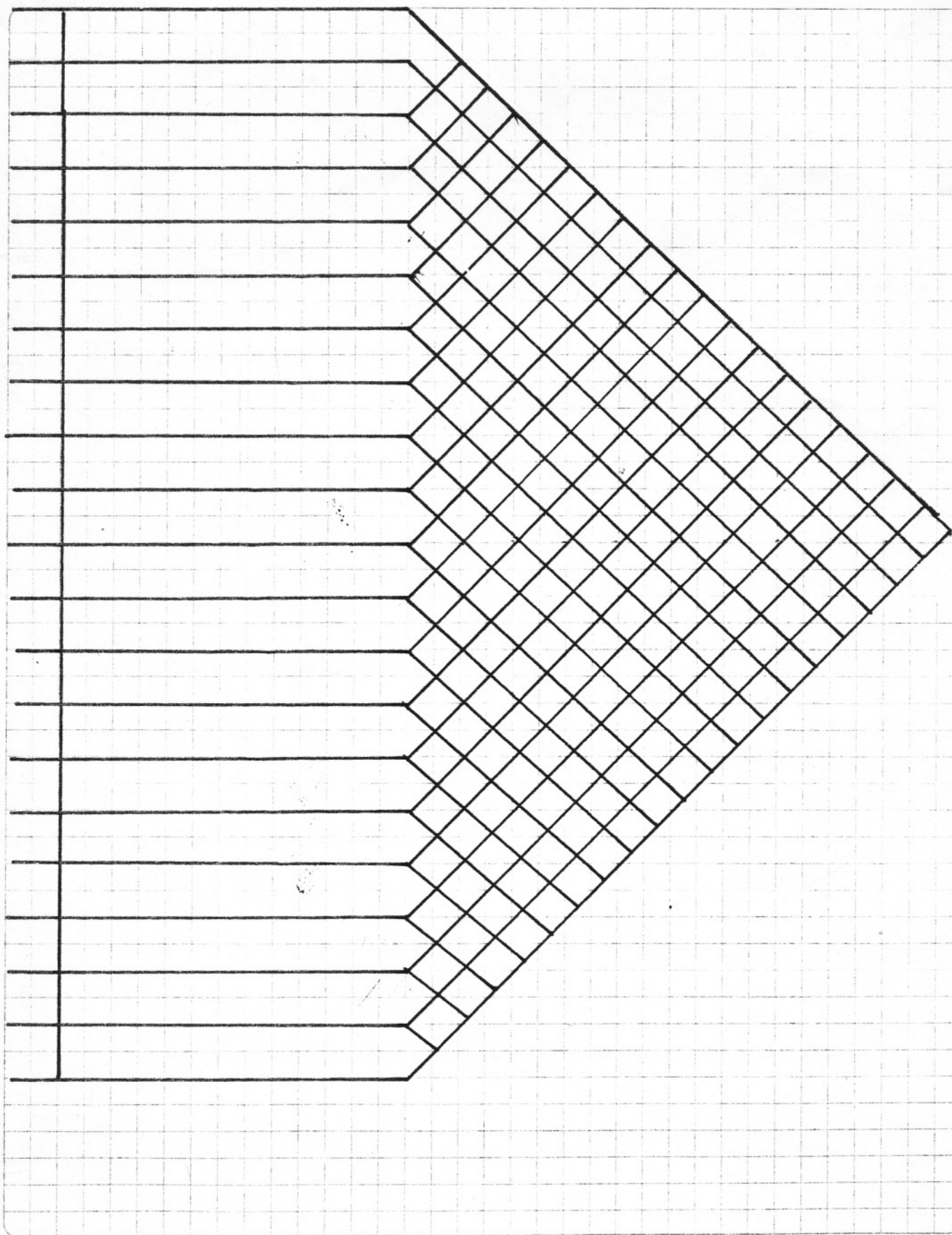
FIGURA 59. Gráficas de rendimiento durante la ejecución de las actividades.

C.P.M. LISTA DE ACTIVIDADES

OBJETIVOS: CASAMIENTO DE UNA PAREJA JOVEN  
 META: CEREMONIA EN 90 DIAS CALENDARIO  
 REQUISITOS: UN NOVIO Y UNA NOVIA

<u>ACTIVIDADES PRINCIPALES</u>	<u>DIAS (TIEMPO ESTIMADO)</u>
1. COMPRA DE ANILLO DE COMPROMISO	1
2. PEDIR A LA NOVIA	1
3. FORMALIZAR EL COMPROMISO	1
4. IMPRESION DE PARTICIPACIONES	30
5. MANDAR A HACER VESTIDO NOVIA Y RENTA TRAJE NOVIO	30
6. APARTAR IGLESIA	1
7. EXAMEN MEDICO	3
8. RESERVAR REGISTRO CIVIL	2
9. SELECCION LUGAR LUNA DE MIEL	5
10. RESERVAR LUNA DE MIEL (TRANSPORTACION Y HOTEL)	2
11. DISTRIBUCION DE PARTICIPACIONES	30
12. APARTAR SALON DE BANQUETES	5
13. BUSCAR VIVIENDA	15
14. RENTAR CASA/DEPARTAMENTO	15
15. COMPRAR MUEBLES	30
16. ARREGLO CASA Y RECEPCION MUEBLES	15
17. VERIFICAR C/U DE LAS ACTIVIDADES ANTERIORES	5
18. PRESENTARSE EN IGLESIA	1
19. CEREMONIA-CASAMIENTO	1
20. BANQUETE-SALIDA LUNA DE MIEL	2

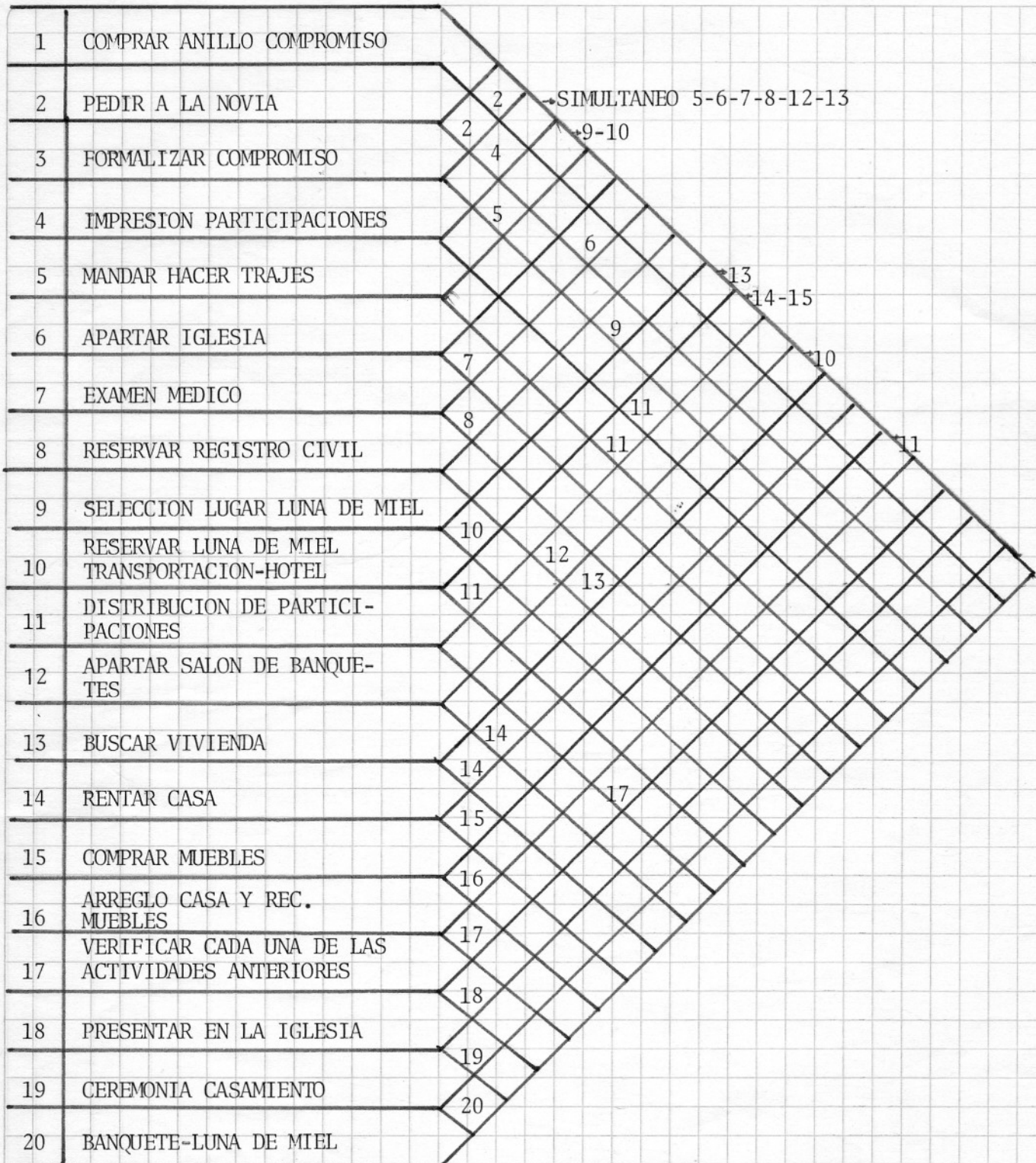




# LISTA DE SECUENCIAS Y ANTECEDENCIAS

C.P.M. PLANEACION CASAMIENTO

3/4

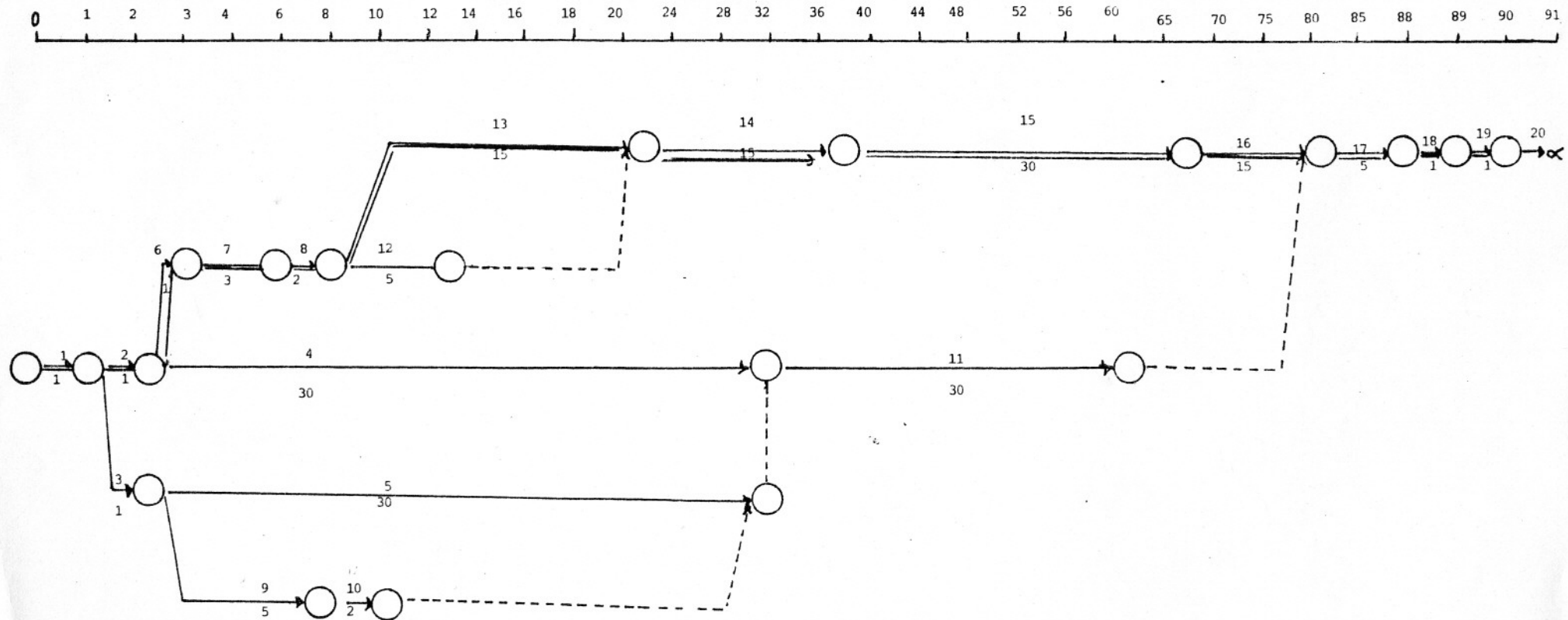


"MATRIZ DE SECUENCIAS Y ANTECEDENCIAS"

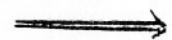
SIMULTANEAS	ACTIVIDAD	DESPUES
	1	2
3	2	4-6
2	3	5-9
5-6-7-8-12-13	4	11
9-10	5	11
-	6	7
-	7	8
-	8	12-13
-	9	10
13	10	11
14	11	17
-	12	14
10	13	14
11	14	15
11	15	16
11	16	17
-	17	18
-	18	19
-	19	20
	20	FIN



" C.P.M. PROGRAMACION POR METODO DE RUTA CRITICA ACTIVIDADES PARA  
CONTRAER MATRIMONIO " EN UN PLAZO DE 90 DIAS.



CONTROL DE LA  
RUTA CRITICA.



4/4

# TRAMITE ACTUAL DE LAS ORDENES DE PAGO

TIEMPO	SIMBOLO	DESCRIPCION
		Atiende al cliente y determina la papelería.
		Acomoda forma Camb. 82 a/f y protege el importe.
		Consulta correspondal, tarifa y/o cálculos de conversión.
		Formula el giro pidiéndole al cliente sus datos, al mismo tiempo.
		Revisa formulación.
		Demora (mientras envía primera firma).
		Envía primera firma.
		Revisa y autoriza primera firma.
		Demora (envía segunda firma)
		Envía segunda firma.
		En espera de revisión.
		Revisa y autoriza la segunda firma.
		Demora (mientras envía a caja).
		Envía a la caja especial.
		Demora (en la charola del cajero).
		Recibe el importe de la operación y entrega el comprobante Camb. 82 "a"
13.04		Clasifica Camb. 82 "c". Envía a transmisión Camb. 82 "b"

## TRAMITE PROPUESTO PARA LAS ORDENES DE PAGO

TIEMPO	SIMBOLO	DESCRIPCION
.09		Recibe hoja de solicitud de servicio y determina papelería.
.35		Acomoda Camb. 82 a/e y se protege (se eliminan Camb. 82 "f", contraseñas de las copias "a" y "b" y folio de Ordenes de Pago).
.75		Consulta correspondal y/o cálculos de conversión.
1.67		Formula orden por base en hoja de solicitud de servicios.
.26		Revisa formulación.
		Envía a revisión y autorización.
		Demora (revisión).
.55		Revisa y autoriza la operación de segunda firma.
		Devuelve a mostrador.
.49		Recibe importe de la operación y entrega el comprobante.
.25		Clasifica ficha Camb. 82 "c". Envía a transmisión Camb. 82 "b".
4.41		